DOI:10.113931/guihaia.gxzw201810024

10 个马齿苋类型的脂肪酸和草酸含量分析

胡水清青[1]，杜红梅[2*]

(1. 上海交通大学农业与生物学院，上海 200240；2. 上海交通大学设计学院，上海 200240)

摘要：采用气相色谱和比色法测定了十种不同来源马齿苋茎、叶中脂肪酸和草酸含量。结果表明，脂肪酸和草酸在 10 个不同类型马齿苋茎、叶中的含量均表现出一定的差异显著性。与叶片相比，茎中的脂肪酸含量相对较低。马齿苋茎、叶中以多元不饱和脂肪酸为主。测出两种多元不饱和脂肪酸，分别是亚麻酸(ω-3 脂肪酸)和亚油酸(ω-6 脂肪酸)。不同类型马齿苋叶片和茎中ω-3 和ω-6 脂肪酸分别占脂肪酸总量的 62.71%～70.91%和 9.30%～13.31%，以及 26.04%～36.02%和 31.61%～43.19%。'金湖'和'南阳'马齿苋叶片和'金湖'马齿苋茎中ω-3 脂肪酸含量显著高于其它类型。国产马齿苋类型，尤其是茎中的ω6/ω3 比例明显小于国外马齿苋类型。马齿苋茎中的草酸含量明显高于叶。除'山东'、'Iran'和'Pakistan'马齿苋茎中的草酸显著积累外，其它类型马齿苋茎中的草酸含量差异不显著。因此，马齿苋适宜早采收。'金湖'和'南阳'，尤其是'金湖'类型的马齿苋是一种值得研究和推荐的马齿苋类型。

关键词：马齿苋，ω-3 脂肪酸，ω-6 脂肪酸，ω6/ω3，草酸

Content analysis of fatty acids and oxalic acid in ten different types of purslane (*Portulaca oleracea*)

HU Shuiqingqing[1], DU Hongmei[2*]

(1. *School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University*, Shanghai 200240, China; 2. *School of Design, Shanghai Jiao Tong University*, Shanghai 200240, China)

Abstract: The contents of fatty acids and oxalic acid in the stems and leaves of purslane (*Portulaca oleracea*) from ten different sources were determined by gas chromatography and colorimetry. The results showed that the contents of fatty acids and oxalic acid in the stems and leaves of 10 different genotypes of purslane showed significant differences. Compared with the leaves, the content of fatty acids in the stems is relatively low. Polyunsaturated fatty acids were dominant in the stems and leaves of purslane. Two kinds of polyunsaturated fatty acids, ω-3 and ω-6 fatty acids, were detected, which accounted for 62.71%-70.91% and 9.30%-13.31% in the leaves, 26.04%-36.02% and 31.61%-43.19% in the stems, respectively, of the total contents of fatty acids in purslane. Among them, there are significantly higher contents of ω-3 fatty acids in the leaves of 'Jinhu, China Local' and 'Nanyang, China Local' and the stems of 'Jinhu, China Local', compared with other genotypes in the same organ. The ω6/ω3 ratios of domestic purslane genotypes were significantly lower than those of foreign genotypes, especially in the stems. The oxalic acid contents in the stems of purslane were significantly higher than those in the leaves. Oxalic acid was found significant accumulation in the stems of 'Shandong, China Local', 'Iran' and 'Pakistan'. And there was no significant difference in oxalic acid contents in the stems of other genotypes. Therefore, purslane is suitable for early harvest. Purslane from 'Jinhu, China Local' and 'Nanyang, China Local', especially 'Jinhu, China Local' is a kind of purslane worthy of research further and recommendation for generalization.

基金项目：国家科技支撑计划项目(2015BAL02B00)[Supported by the National Key Technology R & D Program (Grant 2015BAL02B01)]。

作者简介：胡水清青(1994-)，女，浙江宁波人，硕士生，研究方向为园林植物生长及生理机制，(E-mail) 549159253@qq.com。

*通信作者：杜红梅(1974-)，女，博士，副教授，研究方向为园林植物逆境生理，(E-mail) hmdu@sjtu.edu.cn。

Key words: Purslane (*Portulaca oleracea*), ω-3 fatty acid, ω-6 fatty acid, ω6/ω3, oxalic acid

马齿苋(*Portulaca oleracea*)是马齿苋科马齿苋属的一年生肉质草本植物。起源于印度，随后被广泛传播，是世界上分布最广泛的植物之一，遍布于世界各地的温带、亚热带以及热带地区(杨世诚和郭俊凤, 2004)。马齿苋营养丰富，并且具有保健食疗作用，被誉为 21 世纪最有前途的绿色食品之一(王红艳等, 2004)，还具有一定的观赏价值。作为一种传统的药用植物，具有散血清肿、解毒通淋、抗菌及抗心血管疾病、抗氧化、抗癌、降血糖等功效，是我国卫生部认定的药食同源植物(胡宗进, 1996)。现代研究发现，马齿苋是ω-3 脂肪酸含量最高的蔬菜种类(Simopoulos, 2004)。ω-3 脂肪酸全称为ω-3 系多不饱和脂肪酸，主要来源于鱼类和一些海产品。但由于渔业资源分布有限，人类需要从其它资源中获取ω-3 脂肪酸(朱小芳, 2016)。Simopoulos (2002)指出，随着社会的发展，人类饮食习惯逐渐改变，大量摄入ω-6 脂肪酸含量高的食物，导致人类的饮食结构中ω6/ω3 的比例越来越高。西方人饮食中的ω6/ω3 比例甚至达到了 10-20:1，而理想的ω6/ω3 比例应小于 6:1。饮食结构中ω6/ω3 的比例增加，会大大提高心血管疾病和癌症等各类疾病的发病率(Simopoulos, 2016 & 2008)。因此，多摄入富含ω-3 脂肪酸的食品，减少ω-6 脂肪酸的摄入，降低ω6/ω3 的比例，将大大提高人类的健康水平。

高草酸含量限制了马齿苋的生产和推广。草酸是一种普遍存在于草本植物中的成分，易与矿物质元素结合形成不溶性的草酸盐，且草酸含量高的蔬菜食用起来有明显的苦涩感(周三女等, 2016)。研究发现，每 100 g 菠菜和苋菜中草酸含量分别高达 606 mg 和 1142 mg (姜立经, 2007)。Petropoulos (2015)的研究发现，马齿苋叶片中的草酸含量可以达到 750 mg/100 g 鲜重。美国农业部测定，每 100 g 马齿苋中草酸含量高达 1310mg，使得马齿苋的食用和推广受到了极大的限制。不同起源和类型的马齿苋脂肪酸和草酸含量的研究，鲜有报导(Ercisli, 2008; Gharneh, 2012; Petropoulos, 2015)。马齿苋主要的食用部分是叶片和茎，而关于马齿营养成份的研究主要集中于叶片(Liu et al, 2000; Omara-Alwala et al, 1991)。不同马齿苋类型叶片和茎中的脂肪酸和草酸含量不同。我国民间有食用马齿苋的习惯，但是目前我国市场上流通的马齿苋多为野生植株，少量商业化栽培的马齿苋主要是引种自荷兰的‘大叶马齿苋’。本研究以从国外和国内收集的 10 份马齿苋为材料，分析不同马齿苋类型叶片和茎中的脂肪酸含量和组成，以及草酸含量，筛选ω-3 脂肪酸含量高，ω6/ω3 比例以及草酸含量低的马齿苋类型，为进一步选育食用型的马齿苋种质资源，以及我国野生马齿苋资源的推广和利用提供基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用 10 份马齿苋种子，其中 3 份，荷兰的‘大叶马齿苋’，美国 Wild Garden Seed 公司的‘Tall Green’和‘Golden’，为马齿苋栽培品种；另外 7 份，包括巴基斯坦和伊朗各一份，以及来自河北保定、辽宁、山东、江苏金湖和河南南阳的野生马齿苋，为马齿苋的不同生态型。‘大叶马齿苋’和来自巴基斯坦、伊朗的马齿苋生态型，分别用‘Holland’、‘Pakistan’和‘Iran’来表示。来自河北保定、辽宁、山东、江苏金湖和河南南阳的马齿苋生态型，分别用‘保定’、‘辽宁’、‘山东’、‘金湖’和‘南阳’表示。选取颗粒饱满、籽粒良好的种子备用。

1.2 材料培养

挑选大小一致、籽粒饱满的种子，将种子播洒在 4×8 的育苗穴盘中，每穴播 3～5 粒种子，每个类型播 1 盘。置于室温为 20～25 ℃的温室内进行发芽。播种 14 d 后，筛选长势一致的幼苗，将生长不良的植株拔去，保证每穴有 1～3 棵幼苗，9 个穴为 1 个重复组，每个类型重复 4 次。每隔 2 d 浇水一次，每次每穴浇 10 mL 清水。播种 30d 后，分别取叶片和茎各 0.5 g 左右，测定鲜重后置于-80 ℃冰箱中保存。

1.3 脂肪酸含量测定和分析

将保存的材料取出，冻干后，磨碎，取 0.02 g 冻干粉，转移到 10 mL 顶空瓶中，依次分别加入 1 mL 80%(v/v)甲醇硫酸溶液和 2 μL 10 mg·mL^{-1} 十九烷酸(C19:0, 气相色谱级，纯度大于 98%, Sigma 公司, N5252)内标。置于 80 ℃烘箱，加热 90 min 后 4 ℃冷却 10 min。

冷却后，转至 10 mL 玻璃离心管中，并依次分别加入 1.5 mL 0.9% NaCl 溶液和 1 mL 正己烷。20 ℃，4 000 r/min，离心 10 min。将上清液转移至进样瓶中进行气相色谱(Gas chromatography, GC)分析。用气相色谱仪(GC-2010, 日本岛津公司)进行分析。色谱柱为 DB-5MS，30 m × 0.25 mm × 0.25 µm。分流比为 5:1，进样量 1 µL。进样温度 270 ℃。色谱柱起始温度 70 ℃，样品注入 5 min 后色谱柱温度以 25 ℃·min^{-1} 的速度上升到 200 ℃，再以 2 ℃·min^{-1} 的速度上升到 240 ℃，最后以 20 ℃/min 的速度上升到 300 ℃，保持 10 min。

GC 分析得到的色谱图，采用岛津公司 GC Solution 软件进行分析。使用 C19:0 作为内标来对样品中各个目标成份进行定量。采用 Supelco 公司，货号为 47885-U 的脂肪酸标准品进行样品中脂肪酸的定性分析。

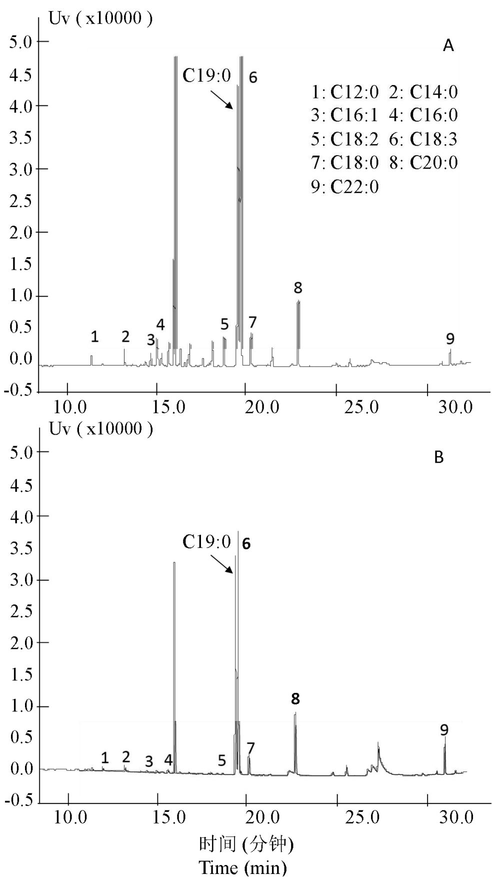


图 1 马齿苋叶(**A**)和茎(**B**)代表性的脂肪酸甲酯色谱图

Fig 1 Representative gas chromatogram of fatty acid methyl esters from leaves (**A**) and stems (**B**) of purslane (*Portulaca oleracea*)

1.4 草酸含量测定

用分光光度法(Helios γ分光光度计，美国热电公司)进行草酸含量的分析(段立珍等, 2007)。依次分别往 50 mL 离心管中加入 2 mL 0.5 mg·mL^{-1} $FeCl_3$ 溶液，20 mL0.2 mol·L^{-1} pH 为 2 的 KCl 缓冲液，1.2 mL 0.5%的磺基水杨酸，0、0.1、0.2、0.4、0.8mL 2 mg·mL^{-1} 草酸钠(ACS 级，纯度大于 99.5%, Sigma 公司, 71800)溶液，并用蒸馏水将体系定容至 25 mL。显色 30 min 后，以蒸馏水为参比，在 510 nm 处测定吸光度并绘制标准曲线。取 0.5 g 样品，在液氮中迅速研磨至粉末状，加入 0.5 mL 蒸馏水转移至 10 mL 离心管，70 ℃水浴加热 30 min，并摇动数次。取出后冷却过滤，采用上述方法进行显色反应和吸光度的测定，并计算样品中的草酸含量。

1.5 数据统计与分析

应用 SPSS 22.0 软件，在 P＝0.05 的水平上，采用最小显著差数法和主成分分析法对实验结果进行统计分析。文章中的图表采用 SigmaPlot 10.0 软件绘制。并采用离差平方和法对

不同类型马齿苋脂肪酸和草酸含量进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 脂肪酸成分和含量分析

如图 1 所示，检测到不同类型马齿苋叶(A)和茎(B)中脂肪酸一共 9 种，按出峰时间依次为：C12:0---月桂酸、C14:0---肉豆蔻酸、C16:1---棕榈油酸、C16:0---棕榈酸、C18:2---亚油酸、C18:3---亚麻酸、C18:0---硬脂酸、C20:0---花生酸、C22:0---山嵛酸。其中，C18:3 的峰面积最大，且叶中脂肪酸的含量明显高于茎。图 2 的结果表明，不同类型马齿苋叶和茎中的脂肪酸含量差异明显，同时，试验的 4 个重复间表现出很好的重复性。

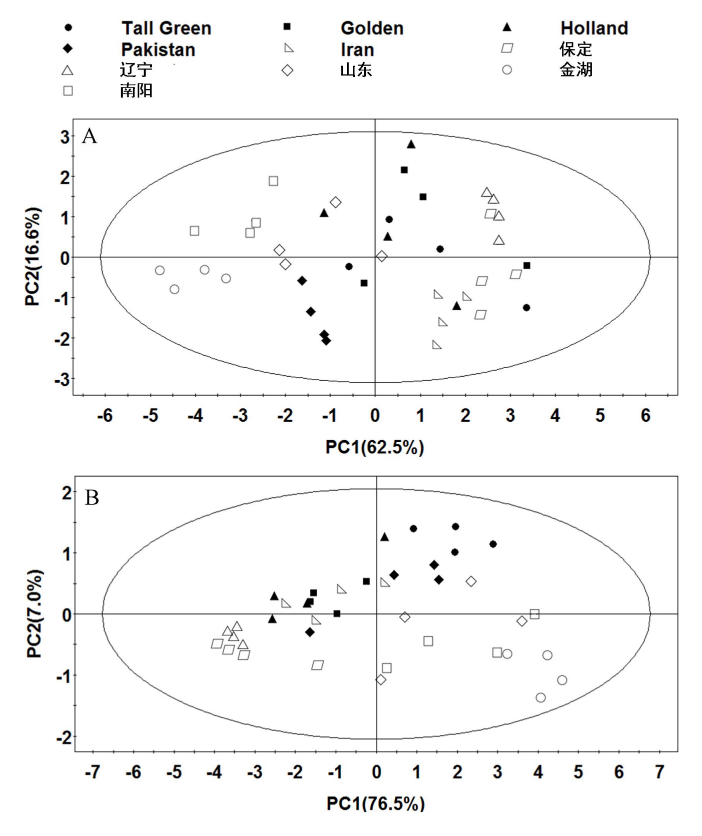


图 2 马齿苋叶(**A**)和茎(**B**)中脂肪酸成分的主成分分析

Fig 2 Principal component analysis of fatty acids composition in leaves (**A**) and stems (**B**) of purslane (*Portulaca oleracea*)

脂肪酸分析表明(如表 1 和表 2)，马齿苋茎、叶中以不饱和脂肪酸，尤其是多元不饱和脂肪酸为主。10 个不同类型马齿苋叶和茎中不饱和脂肪酸分别占脂肪酸总量的 78.06%-82.93%和 65.36%～70.85%。测出两种重要的多元不饱和脂肪酸，一种是ω-3 脂肪酸，C18:3 (linolenic acid, 亚麻酸)；一种是ω-6 脂肪酸，C18:2 (linoleic acid, 亚油酸)。叶片中ω-3 和ω-6 脂肪酸分别占脂肪酸总量的 62.71%-70.91%和 9.30%-13.31%。除了这两种多元不饱和脂肪酸外，叶片中 C16:1(棕榈油酸)和 C16:0(棕榈酸)也占有比例大的比值。茎中ω-3 和ω-6 脂肪酸分别占脂肪酸总量的 26.04%～36.02%和 31.61%～43.19%。与叶片相比，所测马齿苋茎中棕榈油酸所占比例明显下降(从叶片中占脂肪酸总量的 2.84%下降到茎中仅占 0.79%)，而棕榈酸所占比例明显上升(从叶片中占脂肪酸总量的 14.06%上升到茎中的 21.13%)。饱和脂肪酸占脂肪酸总量的比例，也从叶片中的平均 19.06%，增加到茎中的平均 31.75%。与叶片相比，茎中的脂肪酸含量相对较低，仅为对应类型叶片中脂肪酸含量的 23.89%～49.32%。

分析不同类型马齿苋叶片和茎中的ω-3 脂肪酸含量，‘金湖’和‘南阳’叶片中，分别为

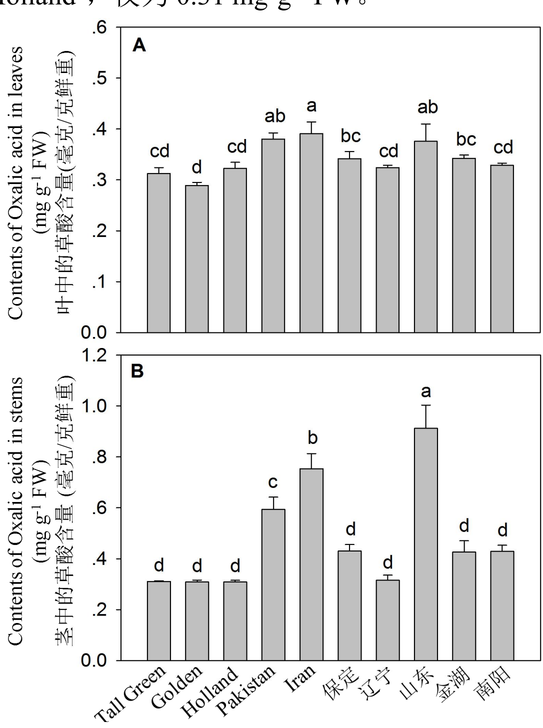
28.95 mg·g-1 DW 和 27.59 mg·g-1 DW，‘山东’和‘Pakistan’叶中的ω-3 脂肪酸含量也较高。‘金湖’茎中的ω-3 脂肪酸含量最高，达到了 7.11 mg·g-1 DW，显著高于其它基因型茎中的ω-3 脂肪酸含量，‘南阳’和‘山东’茎中ω-3 脂肪酸含量也较高。

不同类型马齿苋叶中ω6/ω3 的比例有一定的差异，但数值差异不明显。由于叶片中ω-6 和ω-3 脂肪酸含量的差别比较大，影响不同类型马齿苋叶片中ω6/ω3 比值的主要是ω-3 脂肪酸的含量。‘南阳’、‘金湖’、‘山东’和‘Pakistan’具有显著较低的ω6/ω3 比值。而在茎中，与国外类型相比，国内类型具有相对较低的ω6/ω3 比值。由于茎中ω-6 脂肪酸所占的比重增加，与叶片相比，茎中的ω6/ω3 比值平均增加 3.82 倍(表 1 和表 2)。

2.2 草酸含量分析

如图 3A，不同马齿苋叶片中的草酸含量差异显著，大约为 0.30-0.40 mg·g-1 FW。其中，国外的马齿苋类型‘Iran’叶片中草酸含量最高，达 0.39 mg·g-1 FW。‘Pakistan’、‘山东’、‘金湖’和‘保定’马齿苋叶片中的草酸含量差异不显著。‘Golden’叶片中的草酸含量最低，仅为 0.29 mg/g FW。国产类型‘南阳’和‘辽宁’以及进口的‘Holland’、‘Tall Green’和‘Golden’叶片中的草酸含量差异不显著。

茎中的草酸含量稍有不同，如图 3B 所示。马齿苋茎中的草酸含量明显高于叶，大约在 0.30-1.00 mg·g-1 FW。其中，‘山东’茎中草酸含量高达 0.91 mg/g FW，其次为‘Iran’和‘Pakistan’，分别为 0.75 mg·g-1 FW 和 0.59 mg·g-1 FW。而其他类型马齿苋茎中的草酸含量较低，且差异不显著，最小的为‘Holland’，仅为 0.31 mg·g-1 FW。



注：不同小写字母表示不同马齿苋类型在 0. 05 水平差异显著。
Note: Different lower-case letters indicate significant difference at the 0.05 level between different purslane genotypes.

图 3 不同类型马齿苋叶(**A**)和茎(**B**)中的草酸含量
Fig 3 Contents of oxalic acid in leaves (**A**) and stems (**B**) of different purslane (*Portulaca oleracea*)

表 1 10 种不同类型马齿苋叶片中的脂肪酸含量(毫克/克 干重)

Table 1 Fatty acid contents in leaves of 10 different purslane (*Portulaca oleracea*) genotypes (mg·g^{-1} DW)

脂肪酸 Fatty acid	'Tall Green'	'Golden'	'Holland'	'Pakistan'	'Iran'	'保定'	'辽宁'	'山东'	'金湖'	'南阳'
C12:0	0.01±0.01 abc	0.11±0.02 a	0.09±0.02 abc	0.07±0.01 bc	0.07±0.01 c	0.07±0.09 c	0.10±0.01 ab	0.10±0.01 ab	0.10±0.04 abc	0.12±0.01 a
C14:0	0.11±0.02 b	0.25±0.10 a	0.15±0.03 ab	0.11±0.01 b	0.08±0.01 b	0.10±0.02 b	0.13±0.01 b	0.15±0.01 ab	0.16±0.03 ab	0.19±0.01 ab
C16:1	0.62±0.08 ef	0.66±0.14 de	0.58±0.087 ef	0.91±0.04 bc	0.68±0.02 de	0.43±0.03 f	0.43±0.02 f	0.85±0.06 cd	1.29±0.04 a	1.06±0.08 b
C16:0	3.31±0.42 c	3.45±0.46 c	3.08±0.29 c	4.81±0.09 b	3.35±0.11 c	2.15±0.08 d	2.14±0.10 d	3.79±0.20 c	5.59±0.14 a	5.03±0.35 ab
C18:2 (ω6)	2.72±0.45 c	2.89±0.46 c	2.54±0.14 cd	3.71±0.20 ab	2.90±0.14 c	1.85±0.08 de	1.75±0.08 e	3.17±0.23 bc	4.22±0.09 a	3.62±0.20 ab
C18:3 (ω3)	15.01±0.63 de	13.64±0.40 ef	12.72±0.67 f	23.00±0.51 b	15.50±0.34 d	10.59±0.47 g	10.04±0.52 g	20.63±0.89 c	28.95±0.57 a	27.59±0.36 a
C18:0	0.42±0.04 cde	0.40±0.04 cde	0.46±0.01 cd	0.48±0.02 c	0.37±0.01 e	0.38±0.01 de	0.35±0.01 e	0.68±0.04 b	0.91±0.04 a	0.68±0.04 b
C20:0	0.13±0.02 c	0.14±0.02 c	0.25±0.04 a	0.22±0.03 a	0.12±0.01 c	0.16±0.08 bc	0.12±0.03 c	0.20±0.02 ab	0.21±0.01 ab	0.20±0.01 ab
C22:0	0.29±0.05 cd	0.19±0.03 d	0.41±0.05 ab	0.40±0.04 abc	0.22±0.02 d	0.30±0.04 bcd	0.27±0.02 d	0.39±0.04 abc	0.45±0.02 a	0.42±0.06 a
TFAs	22.71±1.67 d	21.72±1.53 d	20.28±1.18 d	33.70±0.73 b	23.29±0.55 d	16.02±0.67 e	15.32±0.67 e	29.96±1.40 c	41.87±0.88 a	38.91±0.94 a
SFAs	4.36±0.54 de	4.54±0.59 de	4.45±0.37 de	6.08±0.07 bc	4.21±0.12 e	3.15±0.10 f	3.11±0.08 f	5.30±0.29 cd	7.41±0.19 a	6.65±0.35 ab
UFAS	18.35±1.14de	17.18±0.96de	15.83±0.84 e	27.62±0.73 b	19.08±0.44 d	12.87±0.57 f	12.22±0.61 f	24.65±1.14 c	34.46±0.69 a	32.27±0.58 a
PUFAs	17.73±1.06 d	16.52±0.83de	15.26±0.78 e	26.71±0.70 b	18.40±0.43 d	12.44±0.54 f	11.79±0.59 f	23.80±1.09 c	33.17±0.66 a	31.21±0.53 a
ω6/ω3	0.18±0.02 ab	0.21±0.030 a	0.20±0.01 a	0.16±0.01 bc	0.19±0.01 ab	0.17±0.02 ab	0.17±0.01 ab	0.15±0.06 bc	0.15±0.00 bc	0.13±0.01 c

注：**C12:0.** 月桂酸；**C14:0.** 肉豆蔻酸；**C16:1.** 棕榈油酸；**C16:0.** 棕榈酸；**C18:2.** 亚油酸；**C18:3.** 亚麻酸；**C18:0.** 硬脂酸；**C20:0.** 花生酸；**C22:0.** 山嵛酸；**TFAs**. 总脂肪酸；**SFAs**.饱和脂肪酸；**UFAS**.不饱和脂肪酸；**PUFAs**.多元不饱和脂肪酸。同一行数字后，不同小写字母表示不同品种在 P＝0.05 水平下差异显著。

Note: **C12:0.** Lauric acid; **C14:0.** Myristic acid; **C16:1.** Palmitoleic acid; **C16:0.** Palmitic acid; **C18:2**. Linoleic acid; **C18:3**. Linolenic acid; **C18:0.** Stearic acid; **C20:0.** Arachidic acid; **C22:0.** Behenic acid; **TFAs.** Total fatty acids; **SFAs**. Saturated fatty acids; **UFAS**. Unsaturated fatty acids; **PUFAs**. Polyunsaturated fatty acids. Different lower-case letters at the same line indicate significant difference at the 0.05 level between different cultivars.

表 2 10 种不同类型马齿苋茎中的脂肪酸含量(毫克/克 干重)

Table 2 Fatty acid contents in stems of 10 different purslane (*Portulaca oleracea*) genotypes (mg/g DW)

脂肪酸 Fatty acids	'Tall Green'	'Golden'	'Holland'	'Pakistan'	'Iran'	'保定'	'辽宁'	'山东'	'金湖'	'南阳'
C12:0	0.04±0.01 ab	0.04±0.00 b	0.02±0.00 b	0.04±0.00 ab	0.13±0.10 a	0.02±0.01 b	0.02±0.04 b	0.05±0.01 ab	0.05±0.00 ab	0.03±0.01 b
C14:0	0.07±0.00 ab	0.04±0.00 b	0.04±0.00 b	0.06±0.00 b	0.22±0.18 a	0.02±0.00 b	0.02±0.02 b	0.05±0.01 b	0.06±0.01 ab	0.05±0.01 b
C16:1	0.053±0.01 ab	0.04±0.00 b	0.04±0.01 b	0.06±0.00 ab	0.14±0.10 a	0.03±0.01 b	0.03±0.03 b	0.09±0.01 ab	0.09±0.03 ab	0.10±0.01 ab
C16:0	2.52±0.15 b	1.69±0.10 cd	1.52±0.17 cd	2.12±0.30 bc	1.47±0.07 d	0.91±0.12 e	0.71±0.02 e	1.95±0.17 cd	3.47±0.12 a	2.56±0.27 b
C18:2 (ω6)	3.80±0.22 ab	2.30±0.17 c	2.04±0.24 c	3.35±0.46 b	2.25±0.14 c	1.26±0.17 d	0.97±0.03 d	2.62±0.25 c	4.92±0.19 a	3.63±0.32 b
C18:3 (ω3)	3.72±0.18 cd	2.46±0.13 ef	2.40±0.24 ef	2.94±0.47 de	2.27±0.12 ef	2.06±0.39 ef	1.48±0.05 f	4.19±0.41 bc	7.11±0.34 a	4.89±0.68 b
C18:0	0.28±0.02 c	0.22±0.01 c	0.19±0.02 c	0.27±0.04 c	0.28±0.08 c	0.21±0.03 c	0.19±0.01 c	0.47±0.04 b	0.70±0.04 a	0.42±0.03 b
C20:0	0.21±0.01 a	0.13±0.01 b	0.13±0.02 b	0.17±0.04 ab	0.12±0.01 b	0.07±0.01 c	0.07±0.04 c	0.20±0.03 a	0.20±0.01 a	0.16±0.02 ab
C22:0	0.53±0.03 a	0.27±0.02 bc	0.29±0.08 bc	0.29±0.06 bc	0.25±0.05 bc	0.19±0.02 c	0.18±0.01 c	0.46±0.09 a	0.50±0.02 a	0.38±0.08 ab
TFAs	11.20±0.56bc	7.18±0.43 de	6.67±0.78 e	9.30±1.36 cd	7.13±0.63 de	4.77±0.76 ef	3.66±0.10 f	10.06±0.97bc	17.12±0.71 a	12.25±1.35 b
SFAs	3.64±0.17 b	2.38±0.13 cd	2.19±0.29 d	2.94±0.43bcd	2.48±0.43 cd	1.42±0.19 e	1.19±0.03 e	3.17±0.31 bc	4.99±0.17 a	3.63±0.34 b
UFAS	7.56±0.40 c	4.80±0.30 de	4.48±0.49 e	6.35±0.93 cd	4.66±0.24 de	3.35±0.56 ef	2.47±0.07 f	6.89±0.66 c	12.13±0.55 a	8.63±1.01 b
PUFAs	7.51±0.39 bc	4.76±0.30 de	4.44±0.48 e	6.29±0.93 cd	4.52±0.19 e	3.32±0.56 ef	2.45±0.07 f	6.80±0.65 c	12.03±0.53 a	8.52±1.00 b
ω6/ω3	1.02±0.02 b	0.93±0.02 bc	0.85±0.03 cd	1.14±0.05 a	0.99±0.07 b	0.61±0.03 f	0.66±0.02 ef	0.62±0.01 f	0.69±0.01 ef	0.74±0.06 de

注：**C12:0.** 月桂酸；**C14:0.** 肉豆蔻酸；**C16:1.** 棕榈油酸；**C16:0.** 棕榈酸；**C18:2.** 亚油酸；**C18:3.** 亚麻酸；**C18:0.** 硬脂酸；**C20:0.** 花生酸；**C22:0.** 山嵛酸；**TFAs.** 总脂肪酸；**SFAs.** 饱和脂肪酸；**UFAS.** 不饱和脂肪酸；**PUFAs.** 多元不饱和脂肪酸。同一行数字后，不同小写字母表示不同品种在 P=0.05 水平下差异显著。

Note: **C12:0.** Lauric acid; **C14:0.** Myristic acid; **C16:1.** Palmitoleic acid; **C16:0.** Palmitic acid; **C18:2.** Linoleic acid; **C18:3.** Linolenic acid; **C18:0.** Stearic acid; **C20:0.** Arachidic acid; **C22:0.** Behenic acid; **TFAs.** Total fatty acids; **SFAs.** Saturated fatty acids; **UFAS.** Unsaturated fatty acids; **PUFAs.** Polyunsaturated fatty acids. Different lower-case letters at the same line indicate significant difference at the 0.05 level between different cultivars.

将 10 个不同类型马齿苋叶片和茎中的ω-3 脂肪酸含量、ω6/ω3 比例和草酸含量进行数据的中心化和标准化后，对ω-3 脂肪酸含量、ω6/ω3 比例和草酸含量三个变量进行主成分分析，选择主成分 1 和主成分 2 进行层次聚类分析。通过聚类分析我们发现(如图 4)，采用这种分析方法，除‘保定’外，不同类型马齿苋叶片和茎中ω-3 和ω-6 脂肪酸含量和草酸含量表现出同样的变化趋势，有利于大规模的品种和类型筛选。同时，‘金湖’和‘南阳’归为一类，‘Iran’、‘Pakistan’和‘山东’归为一类，其它类型归为一类。

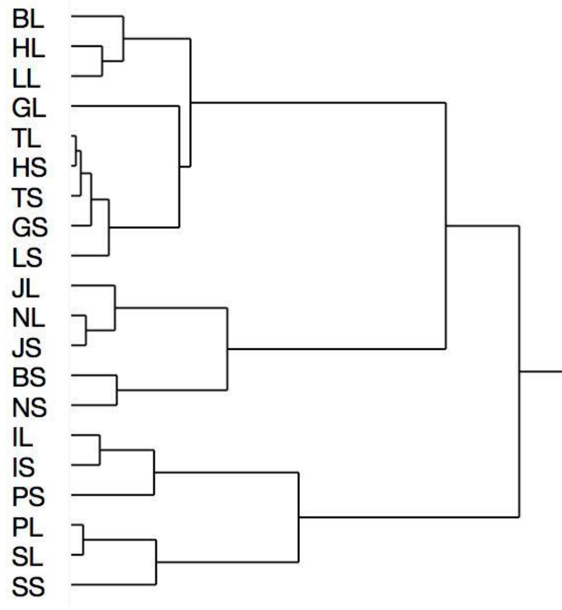


图 4 不同类型马齿苋叶和茎ω-3 脂肪酸、ω6/ω3 和草酸含量的聚类分析

Fig. 4 Hierarchical cluster of ω-3 fatty acids, ratios of ω6/ω3 and contents of oxalic acid of leaves and stems in 10 different genotypes of purslane (*Portulaca oleracea*)

注：**L.** 叶片; **S.** 茎。‘B’、‘H’‘L’、‘G’、‘T’、‘J’、‘N’、‘I’、‘P’和‘S’分别代表‘保定’、‘Holland’、‘辽宁’、‘Golden’、‘Tall Green’、‘金湖’、‘南阳’、‘Iran’、‘Pakistan’和‘山东’。

Note: **L.** Leaves; **S.** Stems. ‘B’, ‘H’‘L’ , ‘G’, ‘T’, ‘J’, ‘N’, ‘I’, ‘P’ and ‘S’ respectively represent ‘Baoding, China Local’, ‘Holland’, ‘Liaoning, China Local’, ‘Golden’, ‘Tall Green’, ‘Jinghu, China Local’, ‘Nanyang, China Local’, ‘Iran’, ‘Pakistan’ and ‘Shangdong, China Local’.

3 结论和讨论

不同类型马齿苋茎、叶中的各类脂肪酸和草酸含量存在明显的差异。叶中的各类脂肪酸含量明显高于茎中的含量，并且茎、叶中含量最高的脂肪酸为 C18.3——亚麻酸，这与 Omara 等(1991)对马齿苋不同器官中脂肪酸含量的研究结果相符。与 Liu 等(2002)的实验结果相似，实验没有在任何一种马齿苋类型的茎、叶中检测到更长链的ω-3 脂肪酸，如 EPA(二十碳五烯酸)、DPA(二十二碳五烯酸)和 DHA(二十二碳六烯酸)(史仁玖等, 2010)，这可能与物质的浓度以及 GC 的反应条件等有一定的关系。

‘Tall Green’、‘Golden’和‘Holland’是目前市场上较为常见的马齿苋栽培类型，实验发现，这三个类型的ω-3 含量与其他类型相比并不占优，仅为‘金湖’类型马齿苋ω-3 含量的 1/2 左右。而‘金湖’和‘南阳’类型马齿苋茎、叶中的ω-3 含量明显高于其它类型。与茎相比，马齿苋不同类型叶片中具有相对更高的ω-3 含量。因此，在生产上，马齿苋适宜早采收。史仁玖等(2010)的研究也发现，生长至 35 d 时，马齿苋叶片中的ω-3 含量最高。

不同类型马齿苋茎、叶中草酸含量的表现则与脂肪酸大不相同，茎中的草酸含量明显高于叶中的含量，这可能与草酸的合成场所以及物质运输有关。实验发现，‘山东’、‘Iran’和‘Pakistan’类型马齿苋茎、叶中的草酸含量较高，而‘辽宁’、‘Tall Green’、‘Golden’和‘Holland’的草酸含量较低。这可能是‘Holland’在国内大量种植，而‘Tall Green’和‘Golden’目前在全世界大范围推广的重要原因。对比国内外的马齿苋类型，发现一些国内的马齿苋类型，如‘辽宁’、‘金湖’、‘南阳’等马齿苋的茎、叶中的草酸含量也较低，可以在生产上大量推广。

综合以上研究，发现与其他类型相比，‘金湖’和‘南阳’，尤其是‘金湖’类型马齿苋有最高的茎叶ω-3 含量，最低的茎叶ω6/ω3 比值，以及较低的草酸含量，是一个很有发展前途的

马齿苋商用类型。

参考文献：

DUAN LZ, WANG JF, ZHAO JR, 2007. Study on the determining conditions of oxalate content in spinach with coloration method [J]. J Anhui Agric Sci, 35(3): 632-633, 643. [段立珍，汪建飞，赵建荣, 2007. 比色法测定菠菜中草酸含量的条件研究[J].安徽农业科学, 35(3): 632-633, 643.]
ERCISLI S, CORUH I, GORMEZ A, et al., 2008. Antioxidant and antibacterial activities of *Portulaca oleracea* L. grown wild in Turkey [J]. Ital J Food Sci, 20: 533-542.
GHARNEH HAA, HASSANDOKHT MR, 2012. Chemical composition of some Iranian purslane (*Portulaca oleracea*) as a leafy vegetable in south parts of Iran[J]. Acta Hortic, 944: 41-44.
HU ZJ, 1996. Development and utilization of purslane [J]. Wild Plant Resour in China, (2): 25, 23. [胡宗进, 1996. 马齿苋的开发利用[J]. 中国野生植物资源, (2): 25, 23.]
JIANG LJ, 2007. Talking about oxalic acid in food [J]. Life and companion: a new health maintenance, (12): 58. [姜立经, 2007. 谈谈食物中的草酸[J]. 人生与伴侣：新养生, (12): 58.]
LIU L, HOWE P, ZHOU YF, et al., 2000. Fatty acids and β-carotene in Australian purslane (*Portulaca oleracea*) varieties [J]. J Chromatogr A, 893: 207-213.
LIU L, HOWE P, ZHOU YF, et al., 2002. Fatty acid profiles of leaves of nine edible wild plants: an Australian study [J]. J Food Lipids, 9: 65-71.
OMARA-ALWALA TR, MEBRAHTU T, PRIOR DE, et al., 1991. Omega-three fatty acids in purslane (*Portulaca oleracea*) tissues [J]. J Amer Oil Chem Soc, 68: 198-199.
SIMOPOULOSAP, 2004. Omega-3 fatty acids and antioxidants in edible wild plants [J]. Biol Res, 37(2): 263-277.
PETROPOULOS SÎ, 2015. Chemical composition and yield of six genotypes of common purslane (*Portulaca oleracea* L.): an alternative source of omega-3 fatty acids [J]. Plant Food Hum Nutr, 70: 420-426.
SHI RJ, MIAO M, LI YL, et al., 2010. Analysis on the contents of ω-3fatty acid and mineral elements in *Portulaca oleracea* of different growth period [J]. Acta Nutr Sin, 32(4): 404-405, 408. [史仁玖，苗苗，李艳玲，等, 2010. 不同生长期马齿苋ω-3 脂肪酸及矿物质元素含量分析[J]. 营养学报, 32(4): 404-405, 408.]
SIMOPOULOS AP, 2016. An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity [J]. Nutrients, 8(3): 128.
SIMOPOULOS AP, 2002. Omega-3 fatty acids in wild plants, nuts and seeds [J]. Asia Paci J Clin Nutr, 11: S163-S173.
SIMOPOULOS A P, 2008. The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases [J]. Exp Biol Med, 233: 674-688.
WANG HY, WANG SL, HUANG QC, 2004. Advance in the research of *Portulaca oleracea* L. (Wild Vegetable) [J]. Chin Agric Bull, 20(2): 31-33,36. [王红艳，王松丽，黄群策, 2004. 野生蔬菜马齿苋的研究进展[J]. 中国农学通报, 31-33, 36.]
YANG SC, GUO JF, 2004. Nutrition and health function of purslane and its development and utilization [J]. Food Nutr China, (5): 24-25. [杨世诚，郭俊凤, 2004. 马齿苋的营养保健作用及其开发利用[J].中国食物与营养, (5): 24-25.]
ZHOU SN, LIU LQ, WU XH, et al., 2016. Content difference of oxalate in fresh, boiling and different- picking- time *Portulaca oleracea* L. [J]. Farm Prod Proc, (12):52-54. [周三女，刘丽清，吴先辉，等, 2016. 生鲜焯煮及不同采摘期马齿苋中草酸的含量差异[J]. 农产品加工, (12): 52-54.]
ZHU XF, 2016. Nutritional effects of n-3 polyunsaturated fatty acids in foods [J]. Mod Food, (1): 48-50. [朱小芳, 2016. 食品中 n-3 多不饱和脂肪酸的营养作用[J]. 现代食品, (1): 48-50.]